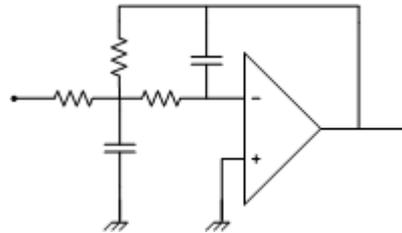


PEA 2411 – Introdução à Automação de Sistemas Elétricos

Considere um relé para proteção de linha de linhas de transmissão que está sendo projetado com as seguintes características:

- Os algoritmos para detecção da falta utilizados nesse relé serão baseados somente nos fasores da componente fundamental dos sinais das tensões e correntes no terminal local da linha de transmissão;
- O relé irá dispor de 4 canais analógicos de corrente (i_a , i_b , i_c e i_n) e 4 canais analógicos de tensão (v_{an} ; v_{bn} ; v_{cn} ; v_{aux});
- O filtro analógico anti-aliasing a ser utilizado em cada um desses canais será um filtro passa-baixas, classe Butterworth, de ordem 2, o que permitirá sua implementação através de um único amplificador operacional como mostrado no circuito abaixo;



- Esse filtro analógico deverá ser projetado de forma que qualquer harmônica presente nos sinais analógicos não provoque erros superiores a 1 % na estimativa da componente fundamental;
- Estão sendo consideradas três alternativas para implementar a frequência de amostragem a ser utilizada na digitalização dos sinais analógicos: 8; 12 ou 16 amostras/ciclo de 60 Hz (480; 720 ou 960 Hz).

Pede-se:

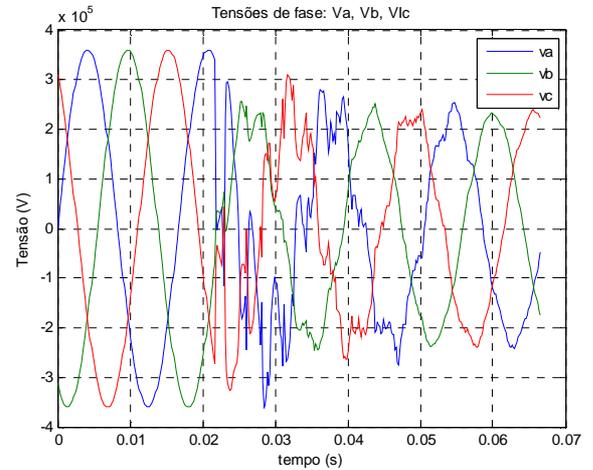
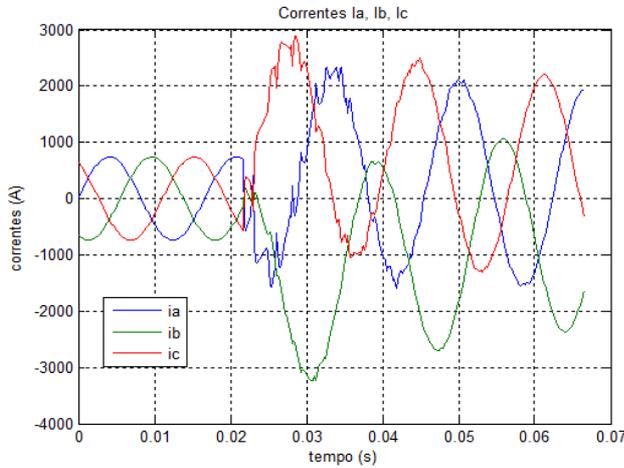
- a)- Encontre a frequência de corte do filtro analógico mais conveniente para ser utilizada em cada uma das alternativas de frequência de amostragem considerada;

Frequência de amostragem (Hz)	Taxa de amostragem (amostras/ciclo)	Harmônica que se superpõe à fundamental	Freq. de corte do filtro (Hz)
480	8		
720	12		
960	16		

b)- A função de transferência de cada um desses filtros;

c)- O tempo de subida da resposta ao degrau para cada filtro (utilize o 'step' do Matlab)

d)- Simule a resposta dos filtros analógicos para os sinais de tensões e correntes de curto-circuito em uma linha de 440 kV mostrados nas figuras abaixo. Estime o atraso no sinal em cada caso.



Obs: esses sinais são fornecidos no arquivo "sinais.m" (vide anexo)

e)- Considere que o relé foi implementado com a frequência de amostragem de 480 Hz (8 amostras/ciclo de 60 Hz). A partir da Transformada Discreta de Fourier deduza um algoritmo digital para extrair os fasores correspondentes à componente fundamental dos sinais analógicos;

f)- Encontre a resposta em frequência para os filtros digitais obtidos no item anterior (utilize a função "freqz" do Matlab);

g)- Apresente a resposta em frequência da associação "filtro analógico + filtro digital" para a faixa $0 \leq f \leq 480$ Hz.

ANEXO A: ARQUIVO sinais.m

```

=====
%   Sinais de tensões e correntes para curto-trifásico em linha de 440 kV
=====
%   numero de ciclos simulados:    4
%   numero de amostras por ciclo: 96

%col: 1      2      3      4      5      6      7      8
%   tempo(s)  van    vbn    vcn    ia     ib     ic

s=[  0      0.0    2232.661  -312824.3  310591.637  14.2872083  -646.91305  632.625839
    4  .1736E-3  25766.9063  -323792.16  298025.259  62.5703972  -668.86563  606.295232
    8  .3472E-3  49190.4161  -333379.28  284188.862  110.584199  -687.96498  577.380785
   12  .5208E-3  72403.4465  -341538.44  269134.994  158.124117  -704.12064  545.996524
   16  .6944E-3  95305.9645  -348237.77  252931.807  204.988988  -717.25213  512.26314
   20  .868E-3   117800.689  -353445.53  235644.843  250.975501  -727.31334  476.337841
   24  .0010416  139788.846  -357129.98  217341.138  295.876405  -734.2368  438.360395
   28  .0012152  161179.794  -359295.45  198115.659  339.517163  -738.03117  398.514008
   32  .0013888   181881.73  -359924.23  178042.502  381.705869  -738.68106  356.97519
   36  .0015624  201805.068  -359009.7   157204.63  422.259672  -736.16746  313.907785
   40  .001736   220864.397  -356557.43  135693.03  461.005213  -730.50137  269.496161
   44  .0019096   238978.11  -352578.32  113600.212  497.776868  -721.70754  223.93067
   48  .0020832  256067.142  -347085.09  91017.9431  532.422998  -709.84078  177.417781
   52  .0022568  272064.102  -340119.29  68055.1873  564.772987  -694.87983  130.106847
   56  .0024304  286894.439  -331691.13  44796.6936  594.710998  -676.97702  82.2660205
   60  .002604   300495.761  -321839.23  21343.4663  622.105156  -656.18034  34.0751789
   64  .0027776  312810.424  -310609.03  -2201.3989  646.836338  -632.57106  -14.265273
   68  .0029512  323785.379  -298050.46  -25734.915  668.796942  -606.25844  -62.538504
   72  .0031248  333374.651  -284212.52  -49162.131  687.896574  -577.33726  -110.55931
   76  .0032984  341536.138  -269158.77  -72377.372  704.049923  -545.9495  -158.10042
   80  .003472   348235.063  -252954.24  -95280.823  717.187582  -512.22757  -204.96001
   84  .0036456  353442.983  -235663.06  -117779.92  727.254367  -476.30454  -250.94983
   88  .0038192  357137.251  -217365.25   -139772.   734.206559  -438.3443  -295.86226
   92  .0039928  359302.627  -198136.37  -161166.26  738.013619  -398.51438  -339.49924
   96  .0041664  359929.278  -178060.65  -181868.63  738.661442  -356.97522  -381.68622
  100  .00434   359015.099  -157226.   -201789.1   736.14957  -313.907  -422.24257

```